

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

609663 DE Paris  
2 704 667

②1 N° d'enregistrement national : 93 05141

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : G 06 F 15/70

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 30.04.93.

③0 Priorité :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite: THOMSON-CSF  
(société anonyme) — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Callegari Xavier et Carel Dominique.

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 04.11.94 Bulletin 94/44.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du  
présent fascicule.

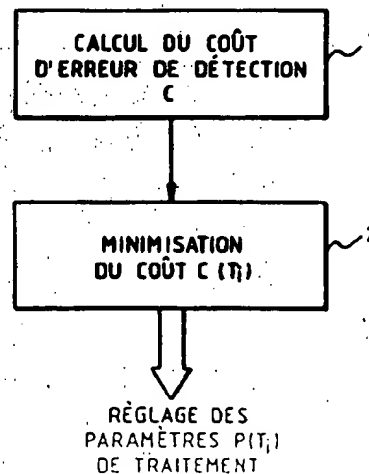
⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Leroux Jean-Philippe.

⑤4 Procédé de traitement d'image de haut niveau, dispositif pour sa mise en œuvre et son application à la détection d'objets ponctuels.

⑤7 Le procédé consiste dans une première étape (1), à calculer une fonction de coût (C) à partir d'erreurs issues de la comparaison entre une détection d'objets dans un lot d'images déterminé résultant du traitement de haut niveau, et un résultat d'une fonction de détection prédéterminée ( $\delta$ ) associée au même lot d'images, appelée vérité-terrain, et consiste, dans une deuxième étape (2), pour minimiser itérativement par approches successives la fonction de coût (C), à initialiser un paramètre d'optimisation (T) à une valeur finie déterminée ( $T_0$ ) suivant une répartition déterminée du coût minimal ( $C_{\min}$ ), le processus itératif s'arrêtant quand le minimum global de la fonction de coût  $C(T)$ , correspondant au réglage paramétrique optimal, est atteint.  
Applications: analyse d'image et, notamment, détection d'objets ponctuels.



BEST AVAILABLE COPY

FR 2 704 667 - A1

**Procédé de traitement d'image de haut niveau, dispositif pour sa mise en oeuvre et son application à la détection d'objets ponctuels.**

5

L'invention concerne un procédé de traitement d'images de haut niveau, un dispositif pour sa mise en oeuvre et son application à la détection d'objets ponctuels.

L'invention se rapporte au domaine de l'analyse d'images.

10

Dans les traitements d'images, un traitement d'image de haut niveau permet d'obtenir une collection d'objets symboliques à partir d'objets détectés dans une image pour faire de la détection, de la reconnaissance de forme, etc... Une chaîne de traitement de haut niveau doit être réglée en ajustant un jeu de paramètres qui conditionnent ses performances.

15

Pour obtenir un réglage paramétrique, une première méthode connue consiste à réaliser manuellement des essais successifs jusqu'à l'obtention de résultats jugés satisfaisants. Une deuxième méthode consiste à mettre en évidence qu'une erreur de traitement est une fonction analytique des paramètres. Elle consiste ensuite à minimiser l'erreur par une méthode de descente du gradient. Cette deuxième méthode est notamment utilisée pour calculer les poids des connexions d'un réseau de neurones.

20

Cependant la première méthode dite méthode manuelle, subjective, est rapidement inapplicable dès que la nombre de paramètres augmente et la deuxième méthode présuppose l'existence d'un lien analytique avec l'erreur.

25

Le but de l'invention est de pallier les inconvénients précités.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de réglage des paramètres d'une chaîne de traitement d'image de haut niveau utilisant un processus itératif d'optimisation, caractérisé en ce qu'il consiste, dans une première étape, à calculer une fonction de coût à partir d'erreurs issues de la comparaison entre une détection d'objets dans un lot d'images déterminé résultant du traitement de haut niveau, et un résultat d'une fonction de détection prédéterminée associée au même lot d'images, appelée vérité-terrain, et en ce qu'il consiste dans une deuxième étape, pour minimiser itérativement par approches successives la fonction de coût, à initialiser un paramètre d'optimisation à une valeur finie déterminée suivant une

30

35

répartition déterminée du coût minimal, à appliquer des perturbations aléatoires, pour chaque valeur du paramètre d'optimisation dont la variation obéit à une fonction récursive décroissante déterminée, sur les paramètres de traitement pendant un nombre déterminé d'itérations, et si les perturbations sont acceptées selon un critère déterminé, à remplacer les paramètres courants de traitement par les paramètres après perturbations pour le réglage des paramètres, sinon à conserver les paramètres courants de traitement, et à tester si la valeur minimale de la fonction de coût répond à un critère de convergence déterminé, si le test est négatif, à recalculer la valeur du paramètre d'optimisation en suivant la fonction récursive décroissante déterminée, et si le test est positif, à arrêter l'étape de minimisation, le minimum global de la fonction de coût correspondant au réglage paramétrique optimal étant atteint.

L'invention a pour avantage qu'elle permet d'une part le réglage automatique par minimisation d'un coût de détection entre le résultat du traitement et un résultat attendu appelé vérité-terrain, en ne faisant aucune hypothèse sur le fonctionnement interne du traitement et permet d'autre part, la convergence du coût vers un minimum global, même en présence de minima locaux. De plus, le processus itératif de minimisation du coût, mesurable en tout point d'un espace d'état déterminé, ne requiert aucune définition analytique du coût en fonction de l'état.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite en regard des figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un organigramme des étapes du procédé selon l'invention,
- les figures 2a, 2b et 2c, des représentations symboliques respectives à une bonne détection, une fausse alarme et à une non-détection,
- la figure 3, un organigramme de la phase d'initialisation du paramètre d'optimisation T,
- la figure 4, un organigramme de l'étape de minimisation du coût du procédé selon l'invention,
- la figure 5, un schéma de principe d'un mode de réalisation d'un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, et

- la figure 6, un exemple d'application numérique présenté sous la forme d'un tableau.

Le procédé selon l'invention est illustré par l'organigramme de la figure 1.

5 Il consiste dans une première étape 1 à calculer une fonction de coût d'erreurs de détection C, en comparant le résultat d'un traitement de haut niveau sur un lot d'images représentatif d'un objectif déterminé avec un résultat attendu issu d'une fonction de détection prédéterminée, appelée "vérité-terrain", sur le même objectif. La fonction de coût C tient compte de la  
10 nature des erreurs de détection ainsi que des erreurs sur les mesures, en les pondérant pour tenir compte des besoins opérationnels.

Le procédé se poursuit dans une deuxième étape 2 par la minimisation du coût C(Ti) en fonction d'un paramètre d'optimisation Ti pour le réglage, par approches successives, des paramètres P du traitement.

15 Comme décrit précédemment, le traitement d'images de haut niveau permet d'obtenir une collection d'objets symboliques à partir d'objets détectés dans une image. Les objets symboliques, pour être identifiés et caractérisés, sont munis d'une représentation sous forme de vecteur de mesure, de liste, de chaîne ou de graphe. Il est possible de quantifier les  
20 similitudes entre ces objets en calculant une "distance" entre ces représentations.

Cette distance est métrique ou binaire dans le cas de vecteurs. Elle correspond à un coût de mise en correspondance entre chaînes, appelé également distance d'édition qui est calculée à partir de l'algorithme de  
25 Wagner et Fisher, ou correspond encore à un coût de mise en correspondance entre graphes.

Dans la présente invention les objets détectés sont représentés par des vecteurs de mesure de dimension donnée m. Les mesures sont des nombres réels et l'espace des mesures est identifié à  $R^m$ . La fonction de  
30 détection  $\delta$  utilisée par le traitement est définie de la manière suivante :

$$\delta: \mathcal{I} \rightarrow P(R^m)$$

$$(1) \quad \mathcal{I} \rightarrow \delta(\mathcal{I}) = \{\mu_0, \mu_1, \dots\}$$

ou  $\mathcal{I}$  est l'ensemble de départ représentant un lot d'images et  $P(R^m)$  l'ensemble d'arrivée représentant un ensemble de paramètres P définissant l'espace des mesures  $R^m$ . La fonction de détection  $\delta$  définie sur  $\mathcal{I}$  fait

correspondre à une image  $I$  un nombre de vecteurs de mesure  $\delta(I) = \{\mu_1, \mu_2, \dots\}$ .

La vérité-terrain est définie comme une fonction de détection particulière  $\delta_v$  connue a priori.

- 5 Elle correspond, par exemple, à une représentation d'avions détectés sur une piste délimitant un objectif déterminé, ou zone, à partir de laquelle sont déterminés l'abscisse et l'ordonnée du centre d'inertie de la zone.

- 10 Chaque image du lot d'images est traitée avec un réglage paramétrique courant fonction d'un contexte déterminé dans lequel fonctionne la chaîne de traitement appelé également état du système.

Un objet détecté est donc caractérisé par un vecteur de mesure  $\mu$  et un objet de la vérité-terrain par un vecteur  $v$

- 15 La première étape 1 du procédé consiste dans une première phase, pour calculer la fonction de coût  $C$ , à associer de manière unique un objet détecté avec un objet de la vérité-terrain caractérisés respectivement par leur vecteur  $\mu$  et  $v$ . Cette association se fait en respectant deux critères successifs. Dans un premier temps les vecteurs de mesure  $\mu_i$  caractérisant les objets détectés et les vecteurs  $v_i$  caractérisant les objets de la vérité-terrain doivent vérifier le critère suivant : la valeur absolue de la différence entre la  $i$ -ème coordonnée du vecteur de mesure  $\mu$  et la  $i$ -ème coordonnée du vecteur vérité-terrain  $v$ , soit l'écart entre les mesures, doit être strictement inférieure à une valeur  $\alpha_i$  déterminée traduisant une incertitude maximale sur les mesures. Cette valeur permet de traduire les différences d'ordre de grandeur ou de sensibilité entre les mesures. Cependant, un objet  
25 détecté peut être associé à plusieurs objets de la vérité-terrain.

- Une telle ambiguïté est levée dans un deuxième temps en affectant préférentiellement un objet détecté à l'objet de la vérité-terrain le plus proche au sens de la distance de Hamming pondérée donnée par la  
30 formule suivante définissant le deuxième critère d'association :

$$(2) \quad d_{\alpha}(\mu, v) = \sum_{k=0}^{m-1} |\mu_k - v_k| / \alpha_k$$

Le nombre d'associations, c'est-à-dire le nombre de couples  $(\mu_i, v_i)$  de vecteurs vérifiant les deux critères précédents, définit un nombre de bonnes détections  $N^{bd}$ .

Les vecteurs "célibataires", c'est-à-dire non associés suivant les deux critères précédents, sont considérés comme des erreurs de détection.

Les erreurs de détection sont de deux natures différentes définies respectivement par un nombre de fausses alarmes  $N^{fa}$  et de non-détections  $N^{nd}$ .

Dans un exemple d'un lot d'images comportant un nombre  $N(k)$  déterminé d'images et des objets de la vérité-terrain associés, à chaque image  $k$  est dénombré un nombre  $N_v(k)$  déterminé d'objets de la vérité-terrain. A l'issue du traitement de détection sur l'image  $k$ , paramétré par un jeu déterminé de paramètres, un nombre déterminé  $N_d(k)$  d'objets détectés est obtenu. Dans une deuxième phase le procédé recherche le nombre de bonnes détections  $N_d(k)$  pour l'image  $k$ . Le nombre de fausses alarmes  $N^{fa}(k)$  et le nombre de non-détections  $N^{nd}(k)$  sont donc calculés par les expressions suivantes :

$$(3) \quad N^{nd}(k) = N_v(k) - N^{bd}(k)$$

$$(4) \quad N^{fa}(k) = N_d(k) - N^{bd}(k)$$

Les figures 2a, 2b et 2c illustrent des représentations symboliques de "bonnes" et de "mauvaises" détections, dans un espace de mesure de dimension égale à deux; les mauvaises détections étant traduites par des non-détections et/ou des fausses alarmes. Sur les trois figures, des objets détectés 4, 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub> sont représentés par un petit cercle, un objet associé de la vérité-terrain 5 par un petit rectangle et une zone d'incertitude de mesure 6 est représentée par un rectangle en trait discontinu.

Pour qu'il y ait une "bonne détection", il faut que l'objet détecté 4, 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub> et l'objet de la vérité-terrain 5 associé se retrouvent au plus proche l'un de l'autre au sens de la distance de Hamming pondérée à l'intérieur de la zone d'incertitude de mesure 6.

La figure 2a représente une "bonne détection". Un objet unique détecté 4 se trouve à proximité de l'objet de la vérité terrain 5 dans la zone d'incertitude de mesure 6. Les deux critères d'association sont vérifiés pour l'objet détecté 4.

La figure 2b représente une "bonne détection" similaire à celle de la figure 2a et deux fausses alarmes correspondant respectivement à un premier objet détecté 4<sub>1</sub> situé dans la zone d'incertitude de mesure 6 mais

éloigné de l'objet de la vérité-terrain 5, et à un deuxième objet détecté 42 situé en dehors de la zone d'incertitude de mesure 6. Le deuxième critère donné par la formule (2) n'est pas vérifié.

La figure 2c représente une "non-détection". Aucun objet détecté 5 4 ne se trouve dans la zone d'incertitude de mesure 6. Aucun critère n'est vérifié.

Selon une troisième phase, le procédé calcul pour un lot déterminé d'images un coût d'erreur de détection C à partir d'un pourcentage de non-détection  $P^{nd}$ , d'un pourcentage de fausse-alarme  $P^{fa}$  et d'une erreur relative moyenne  $D^{bd}$  sur la mesure des objets correctement détectés. 10

Les pourcentages de non-détection  $P^{nd}$  et de fausses alarmes  $P^{fa}$  sont définis respectivement par les formules suivantes :

$$(5) P^{nd} = \frac{\sum_{k=0}^K N^{nd}(k)}{\sum_{k=0}^K N_v(k)}$$

$$(6) P^{fa} = \frac{\sum_{k=0}^K N^{fa}(k)}{\sum_{k=0}^K N_d(k)}$$

L'erreur relative  $D^{bd}$  correspond à la distance moyenne entre les bonnes détections et les objets associés de la vérité-terrain. Cette distance est calculée par la formule suivante :

$$(7) D^{bd} = \frac{1}{m} \frac{\sum_{k=0}^K \sum_{\mu, v \text{ associés - correctement}} d_{\alpha}(\mu, v)}{\sum_{k=0}^K N_v(k)}$$

Le coût d'erreur de détection C est considéré comme une combinaison linéaire à coefficients positifs et de somme égale à 1, du pourcentage de fausses alarmes  $P^{fa}$ , du pourcentage de non-détection  $P^{nd}$  et de l'erreur relative moyenne sur les mesures  $D^{bd}$ . Il est donné par la formule suivante : 25

$$(8) C = \lambda_1 \cdot P^{fa} + \lambda_2 \cdot P^{nd} + \lambda_3 \cdot D^{bd}$$

Les coefficients de pondération  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$  sont déterminés de manière à traduire l'importance relative accordée à chaque type d'erreur en fonction des besoins opérationnels et vérifient la relation suivante :

$$(9) \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$$

Le procédé consiste ensuite dans une deuxième étape 2 à minimiser itérativement la fonction de coût  $C$  précédemment calculée dans la formule (8) en utilisant une méthode itérative d'optimisation appelée méthode de recuit simulé adaptée au réglage paramétrique d'une chaîne de traitement d'images de haut niveau.

Une description de cette méthode peut être trouvée dans un article intitulé : "Simulated annealing : Theory an application" de P.J.M Van Laar Hoven et E.H.L. Aarts et publié par D. Reidee Publishing Company 1987.

10 La méthode de recuit simulé tire son nom de la thermodynamique statistique : lorsque la température d'un ensemble de particules en interaction dans un système est abaissé de façon suffisamment lente, celui-ci atteint un état d'énergie minimale.

A chaque état  $E_p$  du système est associé un coût  $C_p$  assimilable à une énergie. La méthode modifie aléatoirement l'état  $E_p$  en l'état  $E_q$  de coût  $C_q$ . Soit  $\Delta C_{pq} = C_q - C_p$ .

Si  $\Delta C_{pq} \leq 0$ , la modification ou perturbation est acceptée. Si le coût augmente, la perturbation peut être acceptée avec la probabilité  $\exp(-\Delta C_{pq} / T)$  où  $T$  est la "température du système". L'intérêt d'accepter les augmentations de coût est de permettre au système de converger vers un minimum global alors que la méthode du Gradient Stochastique, n'acceptant que des diminutions de coût, peut faire converger le système vers un minimum local.

25 Les divers travaux effectués sur l'application du recuit simulé exposent une stratégie de refroidissement optimal dans le cas où la répartition du coût est gaussienne autour du coût moyen. Or, le coût lors de calibration d'algorithme n'a pas nécessairement une répartition gaussienne.

Le procédé selon l'invention utilise une "stratégie de refroidissement" adaptée, en modifiant l'initialisation du paramètre d'optimisation. Une caractéristique du coût de détection  $C$  est qu'il reste élevé pour une majorité de réglages paramétriques sans beaucoup varier. Par contre, la partie de l'espace paramétrique dans laquelle le coût est proche du coût optimal est relativement petite. Loin de cette région, il est difficile de la rejoindre, bien que statistiquement cela est toujours possible.



Pour minimiser le temps de calcul, le procédé recherche d'abord cette région intéressante ou, en fait, de bonnes détectons sont enregistrées, puis s'efforce d'y rester, tout en continuant la recherche du minimum.

Pour faciliter la compréhension et conserver une certaine cohésion dans le raisonnement de la méthode du recuit simulé adaptée au réglage des paramètres d'une chaîne de traitement de haut niveau, la description du procédé selon l'invention conserve l'analogie avec le terme "température T" qui devra être considéré comme un paramètre d'optimisation déterminé.

10 Le procédé selon l'invention consiste au début de la deuxième étape 2 dans une première phase à initialiser le paramètre d'optimisation T.

La température initiale doit être suffisamment élevée pour "oublier" une configuration initiale de la chaîne de traitement, par exemple un lot d'image précédent définissant un objectif de nature différente. Cette  
15 température peut être fixée arbitrairement ou fixée en fonction de la répartition du coût C à cette température. La figure 3 illustre la phase d'initialisation du paramètre T.

Celle-ci a lieu sur un nombre déterminé A d'itérations visant à rechercher le coût le plus faible  $C_{\min-\text{init}}$ . Pour chaque itération L, une  
20 étape 7 calcule le coût  $C_L$ , suivant la troisième phase de la première étape 1 puis, dans une étape 8, des perturbations sur les paramètres  $P_L$  de traitement sont appliquées à la chaîne de traitement. Dans cette phase d'initialisation toutes les perturbations sont acceptées. Une étape 9 calcule l'effet des perturbations sur le coût  $C_L$  et une étape 10 ajuste les paramètres  
25  $P_L$  du traitement en fonction du résultat de l'étape précédente 9. Un test 11 vérifie si le nombre déterminé d'itérations A est atteint. Si le résultat du test 11 est négatif, un compteur d'itérations, L, 12, est incrémenté et le processus continue. Si le résultat du test 11 est positif, le meilleur coût c'est-à-dire le coût minimal  $C_{\min-\text{init}}$  et les paramètres associés de traitement  $P_L$   
30 sont conservés dans une étape 13. Le coût  $C_{\min-\text{init}}$  et le jeu de paramètres correspondant  $P_L$  deviennent les valeurs initiales pour la première itération à une température finie  $T_0$  qui est déterminée de la manière suivante :

un deuxième test 14 compare le coût minimal  $C_{\min-\text{init}}$  avec le  
35 coefficient  $\lambda_2$  pondérant les erreurs de non-détection. Si  $C_{\min-\text{init}} < \lambda_2$ , il

existe nécessairement de bonnes détections et la température finie  $T_0$  est fixée de manière à minimiser les chances de "remonter" vers une zone de coût élevé où il n'y a pas de bonnes détections. Une probabilité déterminée  $P_1$  d'accepter une augmentation du coût  $C_{\min-\text{init}}$  est fixée pour  $P_1 < 0,5$ . La température finie  $T_0$  est alors déterminée par la formule suivante dans une étape 15 :

$$(10) \quad T_0 = -\ln(P_1) \cdot C_{\min-\text{init}}$$

Sinon, une probabilité d'accepter un accroissement de coût de  $\lambda_1 + \lambda_3$  de manière à continuer la recherche de la zone de faible coût sans rester bloqué par une barrière, est fixée pour  $P_2 < 0,5$ . Le coût maximal étant égal à 1,  $\Delta C_{\max} = 1 - \lambda_2 = \lambda_1 + \lambda_3$ .

Dans ce cas la température finie  $T_0$  est déterminée par la formule suivante dans une étape 16 :

$$(11) \quad T_0 = -\ln(P_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_3)$$

La figure 4 illustre une deuxième phase de la deuxième étape 2 du procédé selon l'invention.

La température finie  $T_0$  venant d'être déterminée dans la première phase de la deuxième étape 2 du procédé, la température  $T$  décroît à chaque itération  $i$ , suivant une loi de décroissance déterminée, en fonction de la variation de la fonction de coût  $C$ . La température pourrait varier selon la loi géométrique suivante :

$$(12) \quad T_{i+1} = \alpha \cdot T_i$$

avec  $0 \leq \alpha < 1$

Cependant, le coût ne varie pas uniformément lorsque la température décroît. Des phénomènes de transition de phases peuvent être observés lorsque le coût moyen varie fortement. Il est opportun de diminuer lentement la température lors de ces transitions de phases afin de réduire les risques de piégeage dans un minimum local. Par contre, lorsque le coût moyen varie peu, le système est dans une phase stable et il convient d'en profiter pour faire varier fortement la température.

La loi de décroissance de la température utilisée par le procédé selon l'invention tenant compte de ce comportement est donnée par la formule suivante :

$$(13) \quad T_{i+1} = T_i \cdot \exp[-d \cdot T_i / \sigma(T_i)]$$

Où  $d$  est une constante déterminée et où  $\sigma(T_i)$  correspond à l'écart type sur le coût  $C$  à la température  $T_i$ .

Un compteur d'itérations  $i$ , est initialisé à zéro. Il est ensuite incrémenté à chaque itération  $i$  sur la température  $T_i$ . L'étape 17 calcule à chaque itération  $i$  une température  $T_{i+1}$  à partir de l'itération précédente  $T_i$  suivant la loi (13) de décroissance définie précédemment.

L'étape 18 consiste à perturber l'état  $E_p$  du système associé à un coût  $C_p$  pour obtenir un nouvel état  $E_q$  associé à un nouveau coût  $C_q$ . A chaque itération  $i$ , les paramètres  $P(T_i)$  sont tous modifiés aléatoirement, puis un à un, ce qui réduit artificiellement la dimension de l'espace d'états donc le nombre d'itérations  $i$  nécessaires. La nouvelle valeur d'un paramètre est choisie dans un voisinage de la valeur courante avec une loi uniforme et un écart maximal qui est ajusté en fonction de l'évolution du coût  $C(T_i)$ . La perturbation des paramètres  $P(T_i)$  est donnée par la formule suivante :

$$(14) \quad \Delta P_{\max}(T_{i+1}) = \Delta P_{\max}(T_i) \cdot \frac{\langle C(T_{i-1}) \rangle + \langle C(T_i) \rangle}{2 \cdot \langle C(T_i) \rangle}$$

où  $\langle C(T_{i-1}) \rangle$  et  $\langle C(T_i) \rangle$  représentent respectivement la valeur moyenne du coût à la température de l'itération précédente et la valeur moyenne du coût à la température de l'itération courante.

Ainsi les paramètres sont d'autant moins perturbés que  $\Delta P_{\max}(T_{i+1})$  converge vers une solution. La valeur initiale de la perturbation maximale des paramètres est fixée par l'utilisateur.

L'étape 19 consiste à calculer une variation du coût  $\Delta C_{pq}$  définie comme la différence entre le coût  $C_q$  associé à l'état  $E_q$ , correspondant au nouvel état du système après perturbation, et le coût  $C_p$  associé à l'état  $E_p$  correspondant à l'état du système avant perturbations. Un premier test 20 teste si la variation du coût  $\Delta C_{pq}$  est inférieure ou égale à zéro, c'est-à-dire si le nouveau coût  $C_p$  est inférieur ou égal à l'ancien coût  $C_p$  traduisant une diminution du coût. Si le test 20 est positif alors la perturbation est acceptée et un nouveau jeu de paramètres  $P(T_i)$  est généré pour le réglage des paramètres de traitement représenté par l'étape 21. Si le test 20 est négatif c'est-à-dire si la variation  $\Delta C_{pq}$  est supérieure à zéro, un deuxième test 22 permet d'accepter la perturbation si le résultat du test 22 répond à la probabilité suivante :

$$(15) \quad \exp(-\Delta C_{pq} / T_i) > \text{random}[0,1]$$

- c'est-à-dire que la fonction exponentielle du rapport de la variation négative du coût avec une température déterminée du système doit être supérieure à un tirage aléatoire compris entre 0 et 1 et les paramètres de réglage sont modifiés de la valeur de la variation  $\Delta C_{pq}$  à l'étape 21. Si le résultat du test 22 est négatif le nouveau jeu de paramètres est rejeté et une nouvelle perturbation sur les paramètres de traitement précédents est générée. Le processus est réitéré tant que le système n'a pas atteint "l'équilibre thermodynamique approché", terme utilisé par la méthode de recuit simulé.
- 10 Pour le réglage de paramètres, il suffit de choisir un nombre déterminé  $L_j(T_i)$  d'itérations  $j$  pour chaque température  $T_i$ .

Le nombre d'itérations effectuées à une température  $T_i$  est donné par la formule suivante :

$$(16) \quad L_j(T_i) = A \cdot \exp(b \cdot \sigma(T_{i-1}) / T_i)$$

- 15 A est un coefficient de probabilité choisi égal au nombre d'itérations de la phase d'initialisation à la température finie  $T_0$ .  $L_j$  est limité à  $5 \cdot A$  pour limiter les temps de calcul.  $b$  est une constante déterminée par l'utilisateur et  $\sigma(T_{i-1})$  est l'écart type du coût à la température de l'itération précédente  $i-1$ .
- 20 Un troisième test 23 teste si le nombre d'itérations  $L_j(T_i)$  est atteint. Tant que le nombre maximal d'itérations  $L_j(T_i)$  n'est pas atteint, le compteur d'itérations  $j$  s'incrémente et les paramètres de traitement sont ou ne sont pas réajustés pour une même température  $T_i$  déterminée. Une fois le nombre d'itération maximal  $L_j(T_i)$  atteint, un quatrième test 24 permet de
- 25 vérifier si le système est "suffisamment refroidi" au sens de la méthode du recuit simulé.

Pour le réglage des paramètres, le processus itératif de minimisation s'arrête quand un critère d'arrêt déterminé est vérifié.

- Le critère d'arrêt du processus est déterminé par la formule
- 30 suivante :

$$(17) \quad \frac{\langle C(T_i) \rangle - C_{\min}}{\langle C_{\min-\text{init}} \rangle - C_{\min}} \leq \epsilon$$

Il permet d'interrompre le processus lorsque le coût se stabilise à un faible niveau. Dans la formule (17)  $\langle C(T_i) \rangle$  et  $\langle C_{\min-\text{init}} \rangle$  correspondent respectivement à la valeur moyenne de la fonction de coût obtenue à la

température  $T_i$  et à la valeur moyenne du coût minimal à l'initialisation,  $C_{\min}$  correspond à la plus petite valeur obtenue pour la fonction de coût depuis le début du processus d'optimisation.  $\varepsilon$  correspond à un paramètre de convergence déterminé par l'utilisateur. Si le critère d'arrêt n'est pas vérifié, le compteur d'itérations  $i$  est incrémenté et une nouvelle température  $T_{i+1}$  est calculée suivant la formule (13) jusqu'à ce que le coût minimal converge vers le paramètre de convergence  $\varepsilon$ . De plus, le procédé sauvegarde systématiquement le meilleur réglage paramétrique et son coût associé pour former le résultat de la calibration du processus d'optimisation.

10 Le minimum global est alors atteint et les paramètres sont inchangés jusqu'à ce qu'un nouveau lot d'images soit traité par la chaîne de traitement de haut niveau.

La figure 5 illustre un schéma de principe d'un dispositif de traitement d'image de haut niveau utilisé pour la mise en oeuvre du procédé.  
15 selon l'invention.

Il comporte des moyens de traitement 25 recevant sur une première entrée un nombre déterminé d'images formant un lot d'images. Ils reçoivent sur une deuxième entrée un ensemble de paramètres  $P$  décrivant l'état du système pour chaque itération. La sortie des moyens de traitement 25 est couplée à une première entrée de moyens de calcul 26 du coût  $C$  qui reçoivent sur une deuxième entrée des informations issues de la vérité-terrain. La sortie des moyens de calcul 26, délivrant un coût d'erreur de détection pour chaque itération, est couplée à une première entrée de moyens de minimisation du coût  $C$ , 27, réalisant les étapes de la méthode de recuit simulé adaptée pour le réglage des paramètres  $P$  du traitement.  
25

Les moyens de minimisation du coût 27 reçoivent sur une deuxième entrée les perturbations aléatoires des paramètres de traitement  $P$ . La sortie des moyens de minimisation du coût  $C$ , 27, délivre une valeur de variation des paramètres  $P$  en fonction des perturbations aléatoires. Elle est couplée à la deuxième entrée des moyens de traitement d'images 25.  
30

Le procédé selon l'invention peut être appliqué à la détection d'objets ponctuels.

Dans le cas d'une chaîne de détection d'objets ponctuels, les mesures caractéristiques des objets extraits sont les coordonnées de la position de l'objet, abscisse et ordonnée dans l'image. L'objet étant ponctuel,  
35

l'erreur de mesure autorisée est du même ordre de grandeur que la résolution spatiale du capteur, qui correspond à un pixel dans l'image. Seuls les fausses alarmes et les non-détections sont représentatives. Les coefficients de pondérations relatifs au type d'erreurs de détection  
5 répondent alors à une nouvelle relation donnée par la formule suivante :

$$(18) \quad (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (\lambda, 1 - \lambda, 0)$$

Pour cette application, les moyens de traitement 25 de la chaîne de détection d'objet ponctuel comportent des moyens de filtrage pour la réduction du bruit, des moyens de seuillage de la luminance de chaque pixel  
10 de l'image, des moyens de recherche des composantes connexes, des moyens de calcul de la taille des objets détectés dans l'image correspondant à une aire mesurée en nombre de pixels, et des moyens de sélection des objets dont la taille est comprise entre deux valeurs limites déterminées. Les objets détectés sont dans des régions de l'image de taille très faible de  
15 l'ordre de quelques pixels, dont la position est obtenue en recherchant le centre d'inertie de ces régions. Trois paramètres sont alors réglés : le seuil de détection, la taille minimale et la taille maximale des objets.

A titre d'application numérique, la figure 6 illustre par un tableau, un exemple de valeurs correspondant aux différentes variables accessibles  
20 par l'utilisateur :

$\lambda$  représente le coefficient de pondération des erreurs de détection,  $P_1$  une probabilité d'accepter une augmentation du coût minimal  $C_{\min}$ ,  $P_2$  une probabilité d'accepter une augmentation de  $\lambda$ ,  $\varepsilon$  le paramètre de convergence et  $d$  et  $b$  sont des constantes pondérant l'écart type du coût  
25  $C$ .

## REVENDECATIONS

1. Procédé de réglage des paramètres d'une chaîne de traitement d'image de haut niveau utilisant un processus itératif d'optimisation, caractérisé en ce qu'il consiste, dans une première étape (1), à calculer une fonction de coût (C) à partir d'erreurs issues de la comparaison entre une détection d'objets dans un lot d'images déterminé résultant du traitement de haut niveau, et un résultat d'une fonction de détection prédéterminée ( $\delta_v$ ) associée au même lot d'images, appelée vérité-terrain, et en ce qu'il consiste dans une deuxième étapes (2), pour minimiser itérativement par approches successives la fonction de coût (C), à initialiser un paramètre d'optimisation (T) à une valeur finie déterminée ( $T_0$ ) suivant une répartition déterminée du coût minimal ( $C_{\min-init}$ ), à appliquer des perturbations aléatoires, pour chaque valeur du paramètre d'optimisation ( $T_i$ ) dont la variation obéit à une fonction récursive décroissante déterminée, sur les paramètres de traitement ( $P_i$ ) pendant un nombre déterminé d'itérations ( $L_i$ ), et si les perturbations sont acceptées selon un critère déterminé, à remplacer les paramètres courants de traitement par les paramètres après perturbations pour le réglage des paramètres, sinon à conserver les paramètres courants de traitement, et à tester (24) si la valeur minimale ( $C_{\min}$ ) de la fonction de coût ( $C_{T_i}$ ) répond à un critère de convergence déterminé, si le test (24) est négatif, à recalculer la valeur du paramètre d'optimisation ( $T_i$ ) en suivant la fonction récursive décroissante déterminée, et si le test (24) est positif, à arrêter l'étape de minimisation (2), le minimum global de la fonction de coût ( $C_{T_i}$ ) correspondant au réglage paramétrique optimal étant atteint.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste, pour le calcul de la fonction de coût (C), à associer, suivant deux critères d'associations déterminés, un vecteur de mesure représentatif d'un objet détecté par le traitement avec un vecteur de mesure unique représentatif d'un objet de la vérité-terrain, et caractérisé en ce que la fonction de coût (C) est une combinaison linéaire, à coefficients ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ) positifs et de somme égale à un, des taux d'erreurs de détection ( $p^{fa}, p^{nd}$ ) définies à partir des objets détectés ( $N_d(k)$ ), dans chaque image (k), des objets détectés vérifiant les critères d'association ( $N^{db}(k)$ ) et des objets de

la vérité-terrain ( $N_v(k)$ ), et de l'erreur relative moyenne ( $D^{bd}$ ) sur la mesure des objets vérifiant les critères d'association.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le premier critère d'association consiste à sélectionner les vecteurs mesures ( $\mu$  et  $v$ ), représentatifs des objets détectés et des objets de la vérité-terrain, dont l'écart de leurs coordonnées respectives ( $\mu_i$  et  $v_i$ ) est inférieur à une valeur déterminée traduisant une incertitude maximale ( $\alpha_i$ ) sur les mesures, et en ce que le deuxième critère d'association consiste à affecter préférentiellement, parmi les vecteurs sélectionnés par le premier critère, un objet détecté à un objet de la vérité-terrain le plus proche au sens de la distance de Hamming pondérée.

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les taux d'erreurs de détection pour chaque image ( $k$ ) sont la somme d'un taux de fausses-alarmes ( $P^{fa}$ ) correspondant au rapport de la différence entre le nombre d'objets détectés ( $N_d(k)$ ) dans l'image ( $k$ ) et le nombre d'objets détectés vérifiant les critères d'association ( $N^{bd}(k)$ ) et le nombre d'objets ( $N_d(k)$ ) détectés dans l'image ( $k$ ), et d'un taux de non-détection ( $P^{nd}$ ) correspondant au rapport de la différence entre le nombre d'objets de la vérité-terrain ( $N_v(k)$ ) et le nombre d'objets détectés vérifiant les critères d'association ( $N^{bd}(k)$ ) et du nombre d'objets de la vérité-terrain ( $N_v(k)$ ), et en ce que l'erreur relative moyenne ( $D^{bd}$ ) correspond à la distance moyenne entre les objets détectés vérifiant les critères d'association et les objets de la vérité-terrain respectifs.

5. Procédé selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'initialisation du paramètre d'optimisation à une valeur finie déterminée ( $T_0$ ) consiste à rechercher par un tirage aléatoire un jeu de paramètres ( $P_i$ ) permettant d'obtenir au moins une bonne détection et choisi pour borner supérieurement la probabilité de ne plus avoir de bonnes détections.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer un nombre déterminé ( $A$ ) d'itérations ( $L$ ) et à calculer un coût minimal ( $C_{min-init}$ ), les paramètres ( $P_L$ ) de traitement relatifs à ce coût ( $C_{min-init}$ ) initialisant les paramètres de réglage, et à comparer ce coût ( $C_{min-init}$ ), par un test (14), à un coefficient ( $\lambda_2$ ) de pondération correspondant aux erreurs de non-détection et si le coût minimal ( $C_{min-init}$ )



est inférieur à ce coefficient ( $\lambda_2$ ), à calculer la valeur finie du paramètre d'optimisation ( $T_0$ ) en fonction d'une première valeur de probabilité ( $P_1$ ) et du coût minimal ( $C_{\min-init}$ ) et si le coût minimal ( $C_{\min-init}$ ) est supérieur au coefficient ( $\lambda_2$ ), à calculer la valeur finie du paramètre d'optimisation ( $T_0$ ) en fonction d'une deuxième valeur de probabilité ( $P_2$ ) et des coefficients de pondération relatifs aux fausses alarmes ( $\lambda_1$ ) et aux erreurs sur les mesures ( $\lambda_3$ ).

7. Procédé selon les revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les perturbations aléatoires des paramètres de traitement ( $P_{Ti}$ ) sont obtenues en calculant, suivant une loi uniforme déterminée par l'expression suivante :

$$\Delta P_{\max}(T_{i+1}) = \Delta P_{\max}(T_i) \cdot \frac{<C(T_{i-1})> + C(T_i)}{2 \cdot <C(T_i)>},$$

où  $<C(T_{i-1})>$  et  $<C(T_i)>$  représentent respectivement la valeur moyenne du coût pour la valeur du paramètre d'optimisation ( $T$ ) à l'itération précédente ( $i-1$ ), et la valeur moyenne du coût pour la valeur du paramètre d'optimisation ( $T$ ) à l'itération courante ( $i$ ), un nouveau jeu de paramètres dans un voisinage borné du précédent en modifiant dans un premier temps tous les paramètres simultanément puis en modifiant successivement un paramètre à la fois.

8. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon les revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de traitement (25) pour la détection d'objets dans un lot d'images déterminé, paramétrés par un jeu déterminé de paramètres ( $P$ ), des moyens de calcul (26) de la fonction de coût ( $C$ ) recevant sur une première entrée les mesures délivrées par les moyens de traitement (25) et sur une deuxième entrée les mesures issues de la vérité-terrain, et des moyens (27) de minimisation du coût ( $C$ ) recevant des perturbations aléatoires et délivrant en sortie un nouveau jeu de paramètres de réglage des moyens de traitement (25).

9. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, à la détection d'objets ponctuels, caractérisé en ce que les vecteurs de mesure représentent les coordonnées des objets détectés et en ce que l'erreur maximale autorisée ( $\alpha_i$ ) est de l'ordre de grandeur de la résolution d'un capteur déterminé utilisé dans le traitement de détection, et

en ce que seuls les taux de fausses alarmes ( $p^{fa}$ ) et de non-détections ( $p^{nd}$ ) sont pris en compte dans le calcul du coût (C).

10. Application selon la revendication 9, caractérisé en ce que le traitement comporte des moyens de filtrage pour la réduction du bruit, des  
5 moyens de seuillage de luminance, des moyens de recherche des composantes connexes, des moyens de calcul de la taille des objets détectés, et des moyens de sélection d'objets dont la taille est comprise entre deux valeurs déterminées.

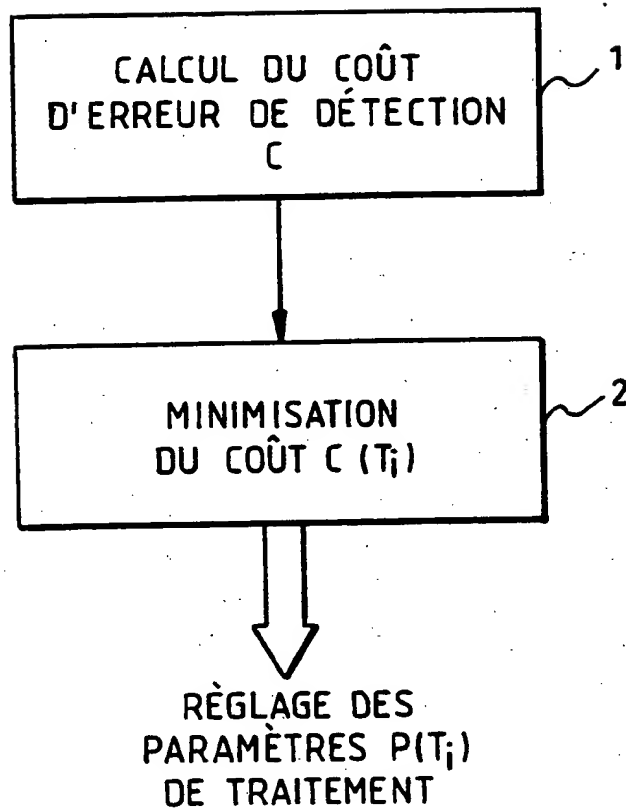


FIG.1

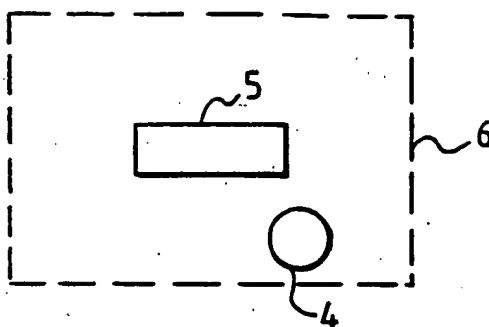


FIG. 2a

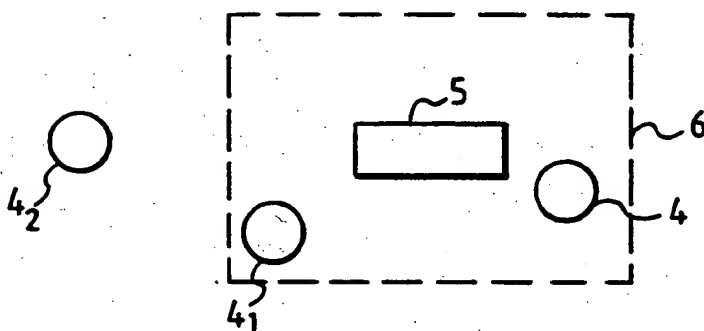


FIG. 2b

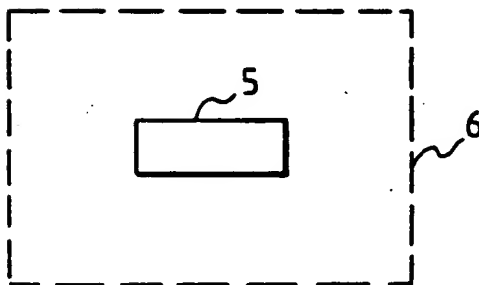


FIG. 2c

3/5

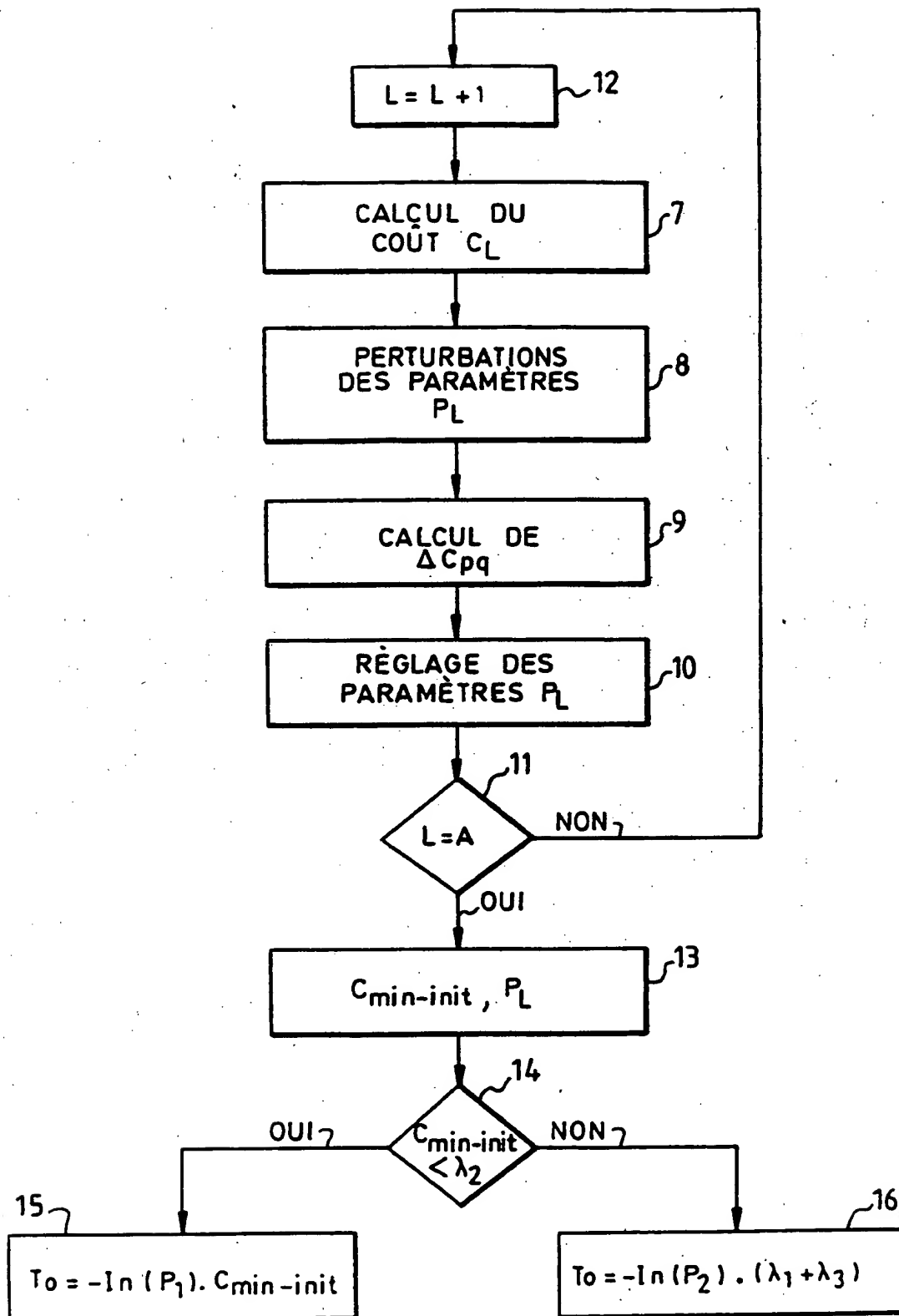


FIG. 3

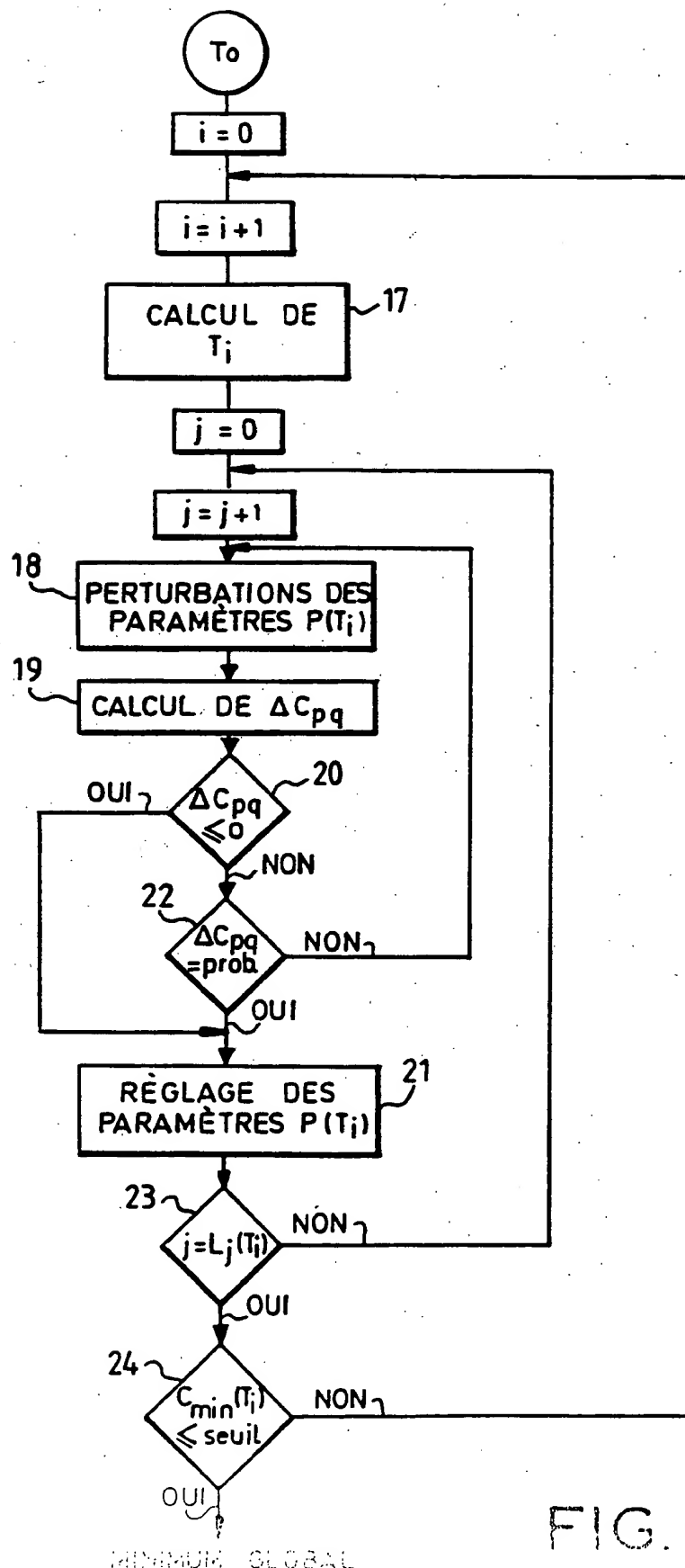


FIG. 4

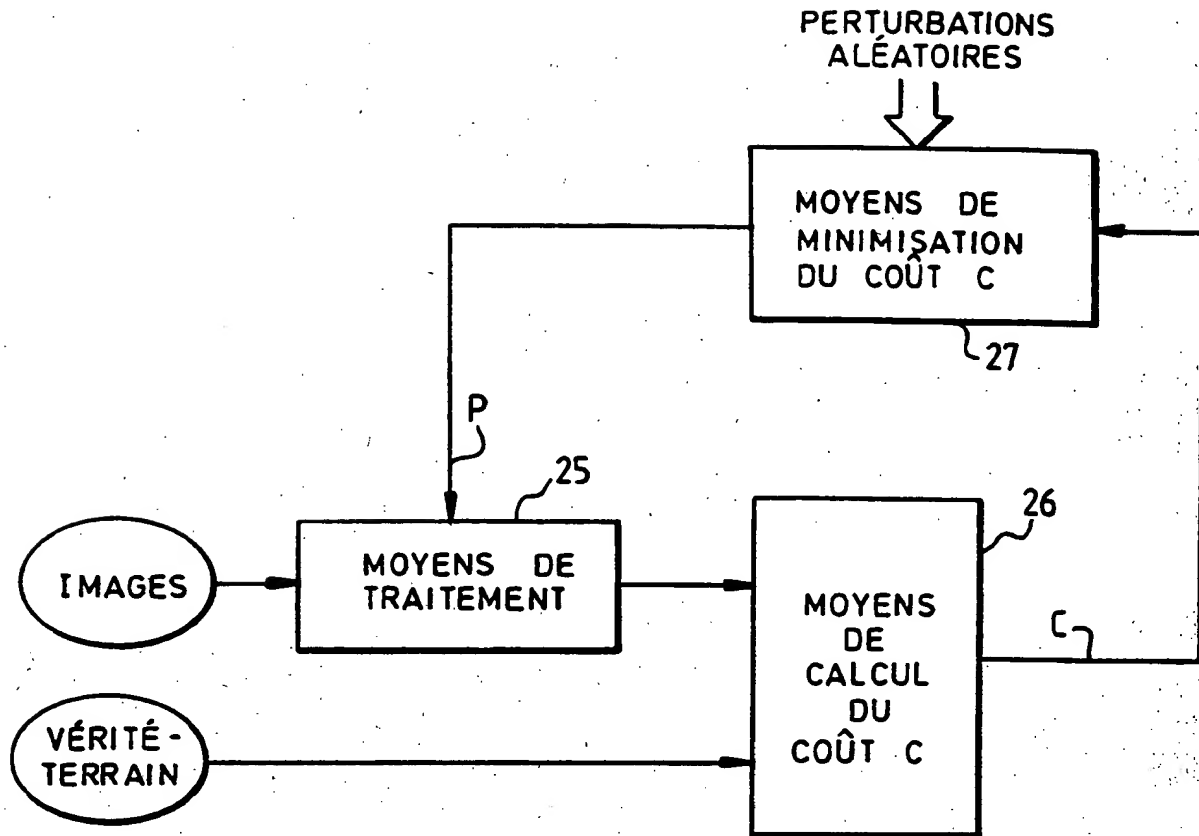


FIG.5

$\lambda$	0.1
$P_1$	0.1
$P_2$	0.9
$\epsilon$	0.01
$A$	10
$d$	0.1
$b$	0.5

FIG.6

3 : membre de la même famille, document correspondant



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☒ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**